

고내구성 블록포장의 초기 공용성 평가에 관한 연구

A Study on the Initial Performance Evaluation of High Durability Block Pavement System

박찬수* · 임무광** · 원홍상*** · 조윤호****

Park, Chan Soo · Linwuguang · Won, Hong Sang · Cho, Yoon-Ho

1. 서 론

블록 포장의 접근성과 안전성이 요구되는 국지도로 및 주택단지 이면도로, 휴게소, 광장 등에 적합한 포장 형식으로 여러 개의 절점을 통한 교통 하중의 분산 효과로 균열이나 표면 손상을 최소화할 수 있어 구조적 안정성이 우수하다. 또한 블록 포장 시스템의 노면 투수 성능에 따른 빗물 유출 억제 효과가 있고 포장체의 복사열 저감에 따른 열섬 현상 저하에 기여하는 친환경성을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 블록포장은 저속 유도에 적절한 평탄성을 보유하고 다양한 색상을 통한 노선, 횡단보도, 노면 표지 구현이 가능하며 다양한 형상과 패턴을 통한 시각적인 효과를 제공하는 장점을 가지고 있다. 국내 블록포장 기술은 전반적으로 낙후된 상태에 있으며 사용재료 및 품질 관리에 대한 엄격한 기준 없이 주로 광장이나 고속도로 휴게소에 시공되고 있다. 국외의 경우 안전성을 향상시키기 위한 다양한 표면 처리, 생산 및 유지기술, 대기오염 방지기술 등을 적용한 다양한 블록포장이 개발되어 도로에 많이 적용되고 있는 반면, 국내에서 시도된 사례는 적다. 따라서 본 연구에서는 블록 포장의 공용성을 좌우하는 포장 시스템 연구 및 국외 품질 기준에 준하는 재료 개선 연구를 바탕으로 블록 포장을 차도에 적용하여 초기 공용성 평가를 실시하였고 신설 아스팔트 포장과 비교하여 블록포장의 우수성을 검증하고자 하였다.

2. 개 요

최근 전 세계적으로 온실가스와 환경오염을 줄이고 환경적으로 지속가능한 경제 성장 패러다임이 제시되고 있다. 이러한 사회·경제적인 패러다임은 도로 분야에도 적용되어 도로의 개념이 공간 이동을 위한 수단이라는 1차원적 의미에서 인간이 삶을 영위하고 활동하는 영역으로 변화되어 가고 있다. 국내 도로 포장은 도로의 등급을 고려하지 않고 획일적으로 아스팔트 포장을 적용한 결과 잦은 유지보수를 필요로 하게 되었고 도로이용자의 불편 및 많은 사회적 비용을 초래하였다. 국외의 경우 도로에 블록포장을 적용한 사례가 많으며 적절한 시방서를 바탕으로 시공하고 공용성 기준에 의거하여 유지관리 하고 있다. 미국은 인터록킹블록협회(Interlocking Concrete Pavement Institute, 이하 ICPI)에서 블록포장 시방기준 및 공용성 기준을 제시하고 있고 일본도 공인된 시방서를 바탕으로 시공하고 있다. 반면 국내는 인터록킹 블록에 대해 KS F 4419에서 휨강도만을 제시하고 있고 시방기준은 정립되어 있지 않은 현실이다.

따라서 중앙대학교 조윤호 교수팀의 고강도 고내구성 블록재료 개발(한국도로학회, 2008)에 따르면, 국내 블록의 휨강도 기준은 5.0MPa 이상이고 이를 압축강도로 나타내면 평균 25MPa 정도로 캐나다 및 영국의 규정의 약 1/2의 수준에 불과하다. 재료개선을 통해 외국의 기준에서 요구하는 수준의 압축강도를 발휘할 수

* 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : chansoo84@naver.com)

** 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : sea_fish@nate.com)

*** 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : kupcl@hamail.net)

**** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

있도록 재료를 개발하였고 기층재료로서 건조수축에 의한 균열 발생을 저감시켜 반사균열을 억제하며 포장의 구조적 성능을 보강 할 수 있는 시멘트 안정처리 기층(Cement Treated Base)을 포함한 블록포장 시스템을 제시하여 국내에 블록포장을 도로에 적용하기 위한 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 상기 연구된 재료를 이용한 블록포장과 기존 아스팔트 포장을 시험 시공하여 두 포장간의 초기 공용성을 비교 분석하고자 하였다.

3. 현장 시험시공

시험시공 현장은 강원도 영월군 남면 광천리 소재지의 군도 일부 구간을 시험시공 섹션으로 선정하였다. 본 현장은 신설구간으로서 단면구성은 종단구배 약 7%의 양방향 2차선 도로에 15m 전이구간을 두어 고내구성 블록 포장과 아스팔트 포장을 각각 40m씩 시공하였다. 두 구간의 보조기층 두께는 동상방지층 40cm, 보조기층 30cm로 동일하게 하였고, 고내구성 블록포장 구간은 블록 8cm, 받침모래층 3cm, 투수 CTB 15cm, 일반 아스팔트포장 구간은 표층 5cm, 아스팔트기층 12cm로 단면 설계하여 시공하였다.

3.1 TDR 게이지 측정

현장 시험시공을 수행하기에 앞서 두 포장체에 대하여 자연환경(강우량, 온도 등)에 따른 노상 중량함수비의 변화와 도로 공용성과의 관계를 살펴보기 위하여 각 포장체의 노상과 보조기층 상부로부터 15cm 아래에 TDR (Time-Domain Reflection)을 매설하였고 동시에 대기 온도도 계측하였다. TDR은 주로 노상토의 중량함수비 변화를 확인하는데 사용되나 강원도의 기후 특성상 동상방지층을 40cm 사용하고 있어 노상의 함수비 변화가 적을 것으로 판단되어 보조기층에도 매설하여 비교하고자 하였다. 측정 결과 그림 1과 같이 9월 27일 39mm/hr의 강우량으로 인하여 노상 중량 함수비가 증가하는 모습을 볼 수 있다. 블록포장의 경우 줄눈에 의한 배수를 통해 노상 중량 함수비가 급격히 증가 후 차츰 떨어지는 양상을 보여 블록포장의 배수 시스템을 확인한 반면, 아스팔트 포장의 경우 표층의 투수가 되지 않아 보조기층에서 약간의 함수비만 증가하는 것으로 초기 변화를 확인 할 수 있었다. 이후 지속적인 TDR 계측과 FWD 분석과 연계하여 포장체의 포화율과 노상 지지력과의 관계를 검토할 계획이다.

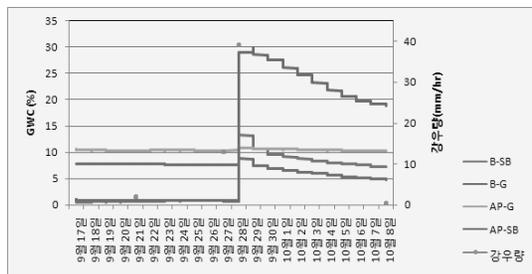


그림 1. 단면별 노상 중량 함수비 변화

3.2 현장 실험

고내구성 블록 포장의 특징은 기층으로 투수 CTB를 사용하여 강성의 증가에 따른 포장층의 안정성 향상 및 배수처리의 확보, 내구성이 강한 블록을 사용한다는 점이다. 따라서 현장 생산한 재료를 현장실험을 통해 재료의 적합성을 확인하였다. 7일간 비닐 양생한 CTB의 코어를 통한 물성 실험 및 KS F 2394에 준하여 현장투수실험을 실시한 결과 투수계수(10^{-2} cm/sec), 연속공극률(15%), 압축강도 기준(50kg/cm^2 , 7일강도)을 모두 만족 하였다. 또한 현장 생산한 블록의 실내실험을 진행한 결과 28일 기준 휨강도(6.09MPa), 흡수율(9.3%), 동결융해 저항성 시험 결과 300cycle 동안 상대무게 변화율이 0.2% 내외로 강한 내구성보여 기존 연구 결과에 부합함을 확인하였다.

4. 초기 공용성 평가

4.1 시공성 평가

블록포장의 시공성을 평가하기 위한 방법으로 단차측정 실험을 진행하였다. 국내에는 블록포장의 시공성을 평가하는 기준이 미비한 관계로 미국 인터록킹 블록 협회(ICPI) 제시하는 기준에 의거하여 평가하였다. ICPI에서는 블록 간 일반적인 인접한 블록간 허용 단차를 3mm이하로 규정하고 배수에 영향을 미치는 지역의 허용단차를 3-6mm로 규정한다(ICPI Guide Specs, 2007). 블록 포장 구간의 인접한 200개의 단차 측정 결과 약 83%가 3mm 이하에 범위를 만족하였고 종단구배 및 우수관을 고려했을 때 매우 양호한 시공 상태로 판단된다.

4.2 FWD(falling Weight Deflectometer)실험

FWD는 비파괴 실험장비 중 하나로 일정한 수직 하중에 대한 포장의 지지력을 평가하기 위한 장비이다. 본 장비를 통해 측정되는 처짐량을 이용하여 고내구성 블록포장과 일반 아스팔트 포장 구간의 구조적 안정성을 비교, 검토하고자 하였다. 시험시공 현장의 두 포장 구간에 양 방향 각각 3개의 타격지점을 선정하여 하중을 가하였고 각 지점당 4개의 하중을 달리하여 타격 후 설계수명 동안의 누적 등가 하중(설계 EASL, 18000Ib 축하중)의 한쪽 차륜 통과 하중에 해당하는 9000Ib 하중을 기준으로 평가하였다. 처짐량 분석결과 그림 2와 같이 블록포장의 경우 표층상부(1번 Geophone)에서 일반 아스팔트포장보다 큰 처짐량을 나타내었고 표층 하부(2번 Geophone)에서는 일반 아스팔트포장보다 적은 처짐량을 나타내었다. 반면 그 하부층부터 노상(7번 Geophone)까지는 두 포장층이 거의 유사한 지지력을 보여 주었다. 블록포장의 받침모래층이 아스팔트포장의 표층에 비해 상대적으로 적은 강성을 가지고 있으나 CTB층의 고강성으로 구조적으로 안정하고 공용성이 양호할 것으로 판단된다. 향후 교통하중의 영향 및 강우에 의한 포장체의 함수비 변화에 따른 지속적인 인 공용성을 모니터링 할 예정이다.

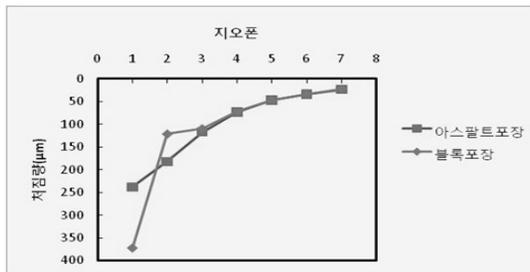


그림 2. FWD 분석 결과

4.3 미끄럼 저항성 평가

블록 포장은 일반 아스팔트포장에 비하여 줄눈부를 통한 배수로 인해 우천 시 안정적으로 미끄럼저항성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 따라서 미끄럼 측정 장비를 활용하여 두 포장구간의 습윤 시 미끄럼 저항성의 확보 유무를 확인하였다. 미끄럼 저항성 실험은 정적인 측정 방법인 British Pendulum Tester(이하 BPT) 장비와 시공 현장의 설계속도로 주행하면서 측정하는 Pavement Friction Tester(이하 PFT) 장비를 사용하였다. BPT 실험은 블록 포장 노면 중 마찰 저항이 가장 낮을 것으로 판단되는 차륜의 주행 위치에서 양 방향 각 3지점을 선정하여 각각 10회씩 KS F 2375에 준하여 실시하였고 PFT 실험은 시험시공 현장의 설계 속도인 50±5km/h로 주행하면서 두 포장의 양 방향구간에 대해 측정하였다. BPT 실험 결과는 British Pendulum Number(이하 BPN)으로 판정하는데 KS F 2375에서는 평가 기준을 명확하게 제시하고 있지 않아 ICPI 판정 기준에 따라 평가하였고 PFT 실험 결과는 Skid Number(이하 SN)로 판정하며 설계속도의 ±5km/h 측정오차를 허용하는 ICPI 기준에 의거하여 평가하였다. ICPI는 BPN 및 SN값의 기준을 표 1, 표 2와 같이 제시하고 있다. 실험 결과 BPN값이 평균 64.6~74.5로 ICPI 기준의 최상위 수준으로 확인되었고, 50±5km/h의 속도로

주행하면서 측정된 SN이 블록포장(평균 60), 아스팔트 포장(평균 63)으로 두 포장 모두 그 기준범위를 상회하고 있어 시공 초기의 충분한 미끄럼 저항성을 확보하고 있음을 확인하였다. 향후 공용에 따른 장기적인 평가를 통해 그 변화 양상을 확인할 것이다.

표 1. BPN 판정 기준 (ICPI Tech Spec 13, 2007)

BPN	판정
45~55	양호한 기상 및 차량 상태일시 미끄럼에 저항
56~64	심각한 기상 상태만 제외한 조건에서 미끄럼에 저항
65 이상	모든 조건에서 미끄럼에 저항

표 2. Skid Number 기준(ICPI Tech Spec 13, 2007)

운행 속도(kph)	Skid Number
40	50~57
65	45~49
80	40~43

4.4 평탄성 평가

노면 평탄성으로 표현하고 있는 노면요철(roughness)은 포장면의 종방향 특성의 하나로 도로의 기능적 측면과 구조적 측면에 동시에 영향을 미치게 된다. 이론적으로 평탄성이 상한 값은 없지만 국제 평탄성 지수(International Roughness Index, 이하 IRI)가 8m/km이상이면 속도의 감속 없이 통과할 수 없으며 블록포장의 평탄성은 속도의 감속을 위해 4~6m/km의 평탄성을 유지해야 한다(최고일, 1992). 따라서 워킹프로파일러 장비를 이용하여 블록 포장의 주행 쾌적성을 평가하고 속도저감에 적절한 평탄성 확보 여부를 평가하였다. 측정 결과 양방향 각 차륜통과 지점 및 센터지점에 대한 평탄성이 평균 6.7m/km로 측정되었다. 향후 시험시공 현장의 두 포장구간을 주행하는 차량의 속도를 실측하여 비교 분석할 것이며 현재 보유하고 있는 평탄성과 속도저감과의 상관성을 연구하여 블록포장의 적정 평탄성을 제시할 계획이다.

5. 결 론

기존 연구에서 개발된 고내구성 블록 재료 및 포장 시스템을 이용하여 현장 시험시공을 실시하였고 블록포장과 기존 아스팔트 포장간의 초기 공용성을 비교 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 블록포장의 시공성을 평가하기 위해 단차측정 실험을 진행하였고 ICPI Guide Specs에 의거하여 평가한 결과 200개의 단차 측정 중 83%가 기준에 만족하여 매우 양호한 시공 상태로 판단된다.
2. 두 포장구간의 습윤 시 미끄럼 저항성의 확보를 평가하기 위해 BPT 실험과 PFT실험을 진행하였다. ICPI Tech Spec 13에서 제시한 기준에 준하여 평가한 결과 BPN값이 평균 64.6~74.5로 모든 기상상태에 대한 미끄럼 저항성을 만족하였, SN값이 블록포장(평균 60), 아스팔트 포장(평균 63)으로 두 포장 모두 그 기준범위를 만족하였다.
3. FWD 실험 결과 표층의 경우 블록포장이 받침모래층으로 인해 아스팔트 포장보다 처짐량이 크게 나타났으나 기층에서 CTB의 고강성으로 구조적으로 안정하며 공용성이 양호할 것으로 판단된다.
4. 블록포장의 초기 평탄성 측정 결과 평균 6.7m/km로 측정되어 향후 연구의 기초자료로 활용할 것이다. 향후 고내구성 블록포장에 대한 장기적인 공용성 평가를 계획하고 있으며 블록포장의 상용화 가능성에 대한 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 논문은 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발(CTRM)”의 2세세부 과제 일환으로 작성되었습니다.

참고 문헌

1. 박민영, 류성우, 조윤호, “고강도 고내구성 블록 재료 개발”, 2008
2. 이육재, 임영환, 조윤호, “콘크리트 블록 포장의 설계와 시공방법”, 도로학회지 도로 v.5, no.2, 2003
3. 최고일, 김재형, 김국한, “포장의 평탄성 특성 연구”, 한국도로공사 1992년 연구보고서, 1992
4. Interlocking Concrete Pavement institute Tech Spec 13, “Slip and Skid Resistance of Interlocking Concrete Pavement”, 2007
5. Interlocking Concrete Pavement institute Guide Specs, “US guide specification for concrete pavers on an aggregate base”, 2007